



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑩ DE 199 57 302 A 1

⑤ Int. Cl. 7:  
H 01 L 23/528  
H 01 L 21/768  
H 01 L 23/58

⑦1 Aktenzeichen: 199 57 302.6  
⑦2 Anmeldetag: 29. 11. 1999  
⑦3 Offenlegungstag: 31. 5. 2001

DE 199 57 302 A 1

⑦1 Anmelder:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE  
⑦4 Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

⑦2 Erfinder:  
Schwarzl, Siegfried, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 85579  
Neubiberg, DE; Pamler, Werner, Dipl.-Phys. Dr.,  
80686 München, DE; Gabric, Zvonimir, 85604  
Zorneding, DE

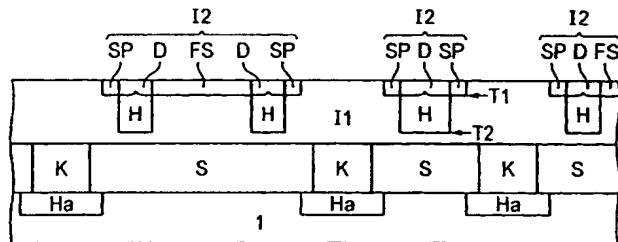
⑤6 Entgegenhaltungen:  
US 59 49 143  
US 58 69 880

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Substrat mit mindestens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen und Verfahren zu dessen Herstellung

⑤7 Die Metallstrukturen (MS) können durch einen Damascene-Prozeß erzeugt werden und sind in einer ersten isolierenden Schicht (I1) und einer darüber angeordneten zweiten isolierenden Schicht (I2) angeordnet. Zwischen den Metallstrukturen (MS) ist jeweils mindestens ein Hohlraum (H) angeordnet, der in der ersten isolierenden Schicht (I1) angeordnet ist und durch die zweite isolierende Schicht (I2) bedeckt wird. Die Hohlräume (H) und die Metallstrukturen (MS) können durch selbstjustierte Prozeßschritte nebeneinander erzeugt werden.



DE 199 57 302 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Substrat mit mindestens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen.

Integrierte Schaltungsanordnungen werden mit immer höherer Packungsdichte erzeugt. Dies hat zur Folge, daß Leiterbahnen in Metallisierungsebenen einen immer kleineren Abstand voneinander aufweisen. Dadurch steigen Kapazitäten, die durch die Leiterbahnen gebildet werden und zu hohen Signallaufzeiten, hoher Verlustleistung und Übersprechen führen. Bisher wurde als Dielektrikum zwischen den Leiterbahnen hauptsächlich  $\text{SiO}_2$  verwendet, dessen relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r = 3,9$  beträgt.

Methoden zur Erniedrigung der relativen Dielektrizitätskonstanten und damit zur Erniedrigung der Kapazität zwischen Leiterbahnen werden beispielsweise in B. Shieh et al "Air gaps lower k of interconnect dielectrics", Solid State Technology (Februar 1999), 51, beschrieben. Auf einem Substrat wird eine erste isolierende Schicht aus  $\text{SiO}_2$  erzeugt. Darüber wird eine Metallschicht und darüber eine zweite isolierende Schicht aus  $\text{SiO}_2$  erzeugt. Durch ein photolithographisches Verfahren werden die zweite isolierende Schicht und die Metallschicht so strukturiert, daß aus der Metallschicht Leiterbahnen erzeugt werden. Zur Erzeugung von Hohlräumen zwischen den Leiterbahnen wird  $\text{SiO}_2$  mit Hilfe eines PECVD-Prozesses selektiv auf der zweiten isolierenden Schicht abgeschieden bis Öffnungen zwischen den Leiterbahnen zugewachsen sind. Anschließend wird  $\text{SiO}_2$  mit Hilfe eines HDP-CVD-Prozesses abgeschieden, um die Bildung von Hohlräumen mit einer sehr großen vertikalen Ausdehnung zu verhindern. Die Hohlräume grenzen an die Leiterbahnen an, so daß das Dielektrikum, das die Kapazität zwischen den Leiterbahnen bestimmt, eine relative Dielektrizitätskonstante aufweist, die fast gleich Eins ist. Die Leiterbahnen werden durch Ätzen der Metallschicht erzeugt. Insbesondere bei der Verwendung von Kupfer für die Leiterbahn ist jedoch ein solcher Prozeß nachteilig.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Substrat mit mindestens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen anzugeben, die mit einem Damascene-Prozeß herstellbar sind und eine kleine Kapazität bilden. Ferner soll ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Substrats angegeben werden.

Bei einem Damascene-Prozeß werden zur Erzeugung von Kontakten oder Leiterbahnen in einer isolierenden Schicht Vertiefungen erzeugt. Anschließend wird Metall abgeschieden und durch chemisch-mechanisches Polieren planarisiert, so daß in den Vertiefungen die Kontakte und die Leiterbahnen erzeugt werden.

Das Problem wird gelöst durch ein Substrat mit mindestens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen, bei dem auf dem Substrat eine erste isolierende Schicht angeordnet ist. Auf der ersten isolierenden Schicht ist eine zweite isolierende Schicht angeordnet, die aus einem anderen Material als die erste isolierende Schicht besteht. In der ersten isolierenden Schicht sind Hohlräume angeordnet, die durch die zweite isolierende Schicht bedeckt werden. Die Metallstrukturen sind voneinander beabstandet und weisen jeweils eine obere horizontale Oberfläche auf, die in der Höhe einer oberen horizontalen Oberfläche der zweiten isolierenden Schicht liegt. Die Hohlräume sind so angeordnet, daß sie nicht an die Metallstrukturen angrenzen und daß mindestens ein Hohlraum zwischen den beiden Metallstrukturen angeordnet ist. Sämtliche horizontalen Querschnitte des Hohlraums im Bereich der ersten isolierenden Schicht sind im wesentlichen gleich.

Das Problem wird ferner gelöst durch ein Verfahren zur Erzeugung eines Substrats mit mindestens zwei darauf an-

geordneten Metallstrukturen, bei dem auf dem Substrat eine erste isolierende Schicht erzeugt wird. Auf der ersten isolierenden Schicht wird eine zweite isolierende Schicht erzeugt, die aus einem anderen Material als die erste isolierende Schicht besteht. In der ersten isolierenden Schicht werden Hohlräume erzeugt, die durch die zweite isolierende Schicht bedeckt werden. Die Metallstrukturen werden so erzeugt, daß sie voneinander beabstandet sind und jeweils eine obere horizontale Oberfläche aufweisen, die in der Höhe einer oberen horizontalen Oberfläche der zweiten isolierenden Schicht liegt. Die Hohlräume werden so erzeugt, daß sie nicht an die Metallstrukturen angrenzen und daß mindestens ein Hohlraum zwischen den beiden Metallstrukturen angeordnet ist. Der Hohlraum wird so erzeugt, daß sämtliche horizontalen Querschnitte des Hohlraums im Bereich der ersten isolierenden Schicht im wesentlichen gleich sind.

Die horizontalen Querschnitte und die horizontalen Oberflächen verlaufen im wesentlichen parallel zu einer Oberfläche des Substrats, auf dem die erste isolierende Schicht angeordnet ist.

Der Hohlraum zwischen den Metallstrukturen verringert die Kapazität, die durch die beiden Metallstrukturen gebildet wird.

Da die Hohlräume tiefer liegen als die Metallstrukturen, können die Metallstrukturen durch Erzeugung von Vertiefungen in der ersten isolierenden Schicht sowie Auffüllung der Vertiefungen durch Abscheiden und chemisch mechanisches Polieren von Metall erzeugt werden. Es kann also ein Damascene-Prozeß zur Erzeugung der Metallstrukturen verwendet werden.

Die Metallstrukturen sind beispielsweise Kontakte oder Leiterbahnen einer Metallisierungsebene einer integrierten Schaltungsanordnung.

Da die Hohlräume nicht an die Metallstrukturen angrenzen, können die Metallstrukturen nach Erzeugung der Hohlräume erzeugt werden, ohne daß beim Abscheiden des Metalls die Hohlräume mit Metall gefüllt werden.

Das Vorsehen der zweiten isolierenden Schicht ermöglicht die Erzeugung des Hohlraums, bei dem sämtliche horizontale Querschnitte im Bereich der ersten isolierenden Schicht im wesentlichen gleich sind. Innerhalb der ersten isolierenden Schicht verengen sich also z. B. die Hohlräume nicht nach oben, was zu einer größeren Kapazität führen würde.

Beispielsweise wird der Hohlraum erzeugt, indem eine Vertiefung in der ersten isolierenden Schicht erzeugt wird und mit einer Füllung gefüllt wird. Anschließend wird die zweite isolierende Schicht abgeschieden. In der zweiten isolierenden Schicht wird eine Öffnung über der Füllung gebildet durch die die Füllung durch isotropes Ätzen entfernt wird. Anschließend wird die Öffnung geschlossen. Eine weitere Möglichkeit den Hohlraum zu erzeugen besteht darin, eine Vertiefung in der ersten isolierenden Schicht zu erzeugen und mindestens einen Teil der zweiten isolierenden Schicht durch selektives Abscheiden zu erzeugen, bei dem kein Material auf der ersten isolierenden Schicht abgeschieden wird.

Im folgenden wird ein Verfahren beschrieben, bei dem der Hohlraum durch selektives Abscheiden erzeugt wird und bei dem die Hohlräume und die Metallstrukturen selbstjustiert nebeneinander erzeugt werden.

Auf der ersten isolierenden Schicht wird eine Maske erzeugt, die mindestens ein erstes Gebiet und ein davon beabstandetes zweites Gebiet der ersten isolierenden Schicht bedeckt. Mit Hilfe der Maske wird die erste isolierende Schicht bis zu einer ersten Tiefe geätzt. Nach dem Ätzen bis zur ersten Tiefe werden als Teil der zweiten isolierenden Schicht Spacer mit einer solchen Dicke erzeugt, daß minde-

stens zwei der Spacer zwischen dem ersten Gebiet und dem zweiten Gebiet angeordnet sind und voneinander beabstandet sind. Nach Erzeugung der Spacer wird Material möglichst konform abgeschieden und anisotrop rückgeätzt bis die Maske freigelegt wird, so daß Füllstrukturen erzeugt werden. Ist der Abstand zwischen den beiden Spacern größer als die doppelte Dicke des für die Füllstrukturen abgeschiedenen Materials, so sind zwei spacerförmige Füllstrukturen zwischen den beiden Spacern angeordnet, die jeweils an einen der beiden Spacer angrenzen. Ist der Abstand zwischen den beiden Spacern kleiner als die doppelte Dicke des für die Füllstrukturen abgeschiedenen Materials, so grenzt eine Füllstruktur an beide Spacer an.

Nach Erzeugung der Füllstrukturen werden als Teil der zweiten isolierenden Schicht Füllschichten erzeugt, indem Material abgeschieden und chemisch mechanisch poliert wird, bis die Maske freigelegt wird. Vorzugsweise ist die Dicke des abgeschiedenen Materials für die Füllschichten größer als die Summe der Dicke der Maske und der ersten Tiefe, so daß nach dem chemisch-mechanischen Polieren eine ebene Oberfläche vorliegt.

Die Füllstrukturen werden nach Erzeugung der Füllschichten entfernt. Die durch die Entfernung der Füllstrukturen freigelegten Teile der ersten isolierenden Schicht werden bis zu einer zweiten Tiefe, die tiefer als die erste Tiefe liegt, geätzt, so daß erste Vertiefungen erzeugt werden. Es wird Material durch einen selektiven Abscheideprozeß derart abgeschieden, daß das Material auf die Spacer aber nicht auf der ersten isolierenden Schicht abgeschieden wird, bis in den ersten Vertiefungen vom Material bedeckte Hohlräume entstehen. Nach Bildung der Hohlräume wird chemisch-mechanisch poliert bis die Maske abgetragen wird, so daß aus dem selektiv abgeschiedenen Material als Teil der zweiten isolierenden Schicht Deckelstrukturen erzeugt werden, die die Hohlräume bedecken und zwischen den Spacern angeordnet sind.

Das erste Gebiet und das zweite Gebiet, die durch die Entfernung der Maske freigelegt sind, werden selektiv zu den Deckelstrukturen, den Füllschichten und den ersten Spacern geätzt, so daß zweite Vertiefungen, die mindestens bis zur zweiten Tiefe reichen, erzeugt werden. Anschließend wird Metall abgeschieden und durch chemisch mechanisches Polieren abgetragen bis die Deckelstrukturen freigelegt werden, so daß in den zweiten Vertiefungen Metallstrukturen erzeugt werden.

Die Metallstrukturen werden also durch einen Damascene-Prozeß hergestellt.

Die Deckelstrukturen, die Spacer und die Füllschichten bilden die zweite isolierende Schicht.

Die erste Tiefe bestimmt die Dicke der Deckelstrukturen und ist gleich der Dicke der Deckelstrukturen. Die zweite Tiefe bestimmt einen Abstand zwischen den Böden der Hohlräume und einer unteren horizontalen Oberfläche der ersten isolierenden Schicht. Die Differenz zwischen der Dicke der ersten isolierenden Schicht und der zweiten Tiefe ist gleich diesem Abstand. Eine Breite der Hohlräume kann bis zu der doppelten Dicke des Materials, das zur Erzeugung der Füllstrukturen abgeschieden wird, betragen. Die Dicke des Materials zur Erzeugung der Füllstrukturen ist im wesentlichen, d. h. bei 100%ig konformer Abscheidung, gleich der Breite der Hohlräume für den Fall, daß der Abstand zwischen zwei der Spacer, zwischen denen kein Teil der Maske liegt, größer ist als die doppelte Dicke dieses Materials. Die Breite eines Hohlraums ist eine Abmessung, die in einer horizontalen Ebene verläuft und senkrecht zu einer neben dem Hohlraum angeordneten seitlichen Fläche eines der Metallstrukturen verläuft.

Die zweiten Vertiefungen können die erste isolierende

Schicht durchtrennen.

Aufgrund der selbstjustierten Prozeßschritte sind die Hohlräume so angeordnet, daß die Metallstrukturen seitlich an Teile der ersten isolierenden Schicht angrenzen, die eine definierte horizontale Dicke aufweisen. Diese definierte horizontale Dicke wird durch die Dicke der Spacer bestimmt. Die Dicke der Spacer ist gleich der definierten horizontalen Dicke.

Die Kapazität, die durch die beiden Metallstrukturen gebildet wird, ist umso kleiner je dünner die Spacer und die Deckelstrukturen sind und je tiefer die zweite Tiefe ist.

Zur Erniedrigung der Kapazität ist es vorteilhaft, wenn der Abstand zwischen den beiden Metallstrukturen etwa gleich der Summe der doppelten Dicke der Spacer und der doppelten Dicke des zur Erzeugung der Füllstrukturen abgeschiedenen Materials ist. In diesem Fall ist ein einziger, besonders breiter Hohlraum zwischen den Metallstrukturen angeordnet.

Durch das selektive Abscheiden des Materials zur Erzeugung der Deckelstrukturen weist die zweite isolierende Schicht Einbuchtungen auf, die über mittleren Bereichen der Hohlräume angeordnet sind.

Die Füllstrukturen sind selektiv ätzbar zur Maske, zu den Füllschichten und zu den Spacern. Die erste isolierende Schicht ist selektiv ätzbar zur Maske, zu den Füllschichten, zu den Spacern und zu den Deckelstrukturen. Die Maske, die Füllschichten, die Spacer und die Deckelstrukturen können aus demselben Material bestehen.

Zur Prozeßvereinfachung ist es vorteilhaft, wenn die Füllstrukturen und die erste isolierende Schicht aus demselben Material bestehen, da die Entfernung der Füllstrukturen und die Erzeugung der zweiten Vertiefungen in einem Ätzschritt durchgeführt werden können. Beispielsweise bestehen die Füllstrukturen und die erste isolierende Schicht aus Siliziumnitrid. Vorzugsweise bestehen dann die Maske, die Füllschichten, die Spacer und die Deckelstrukturen aus  $\text{SiO}_2$ .

Bestehen die Spacer aus  $\text{SiO}_2$ , so kann das selektive Abscheiden des Materials auf den Spacern durch einen  $\text{O}_2/\text{TEOS}$ -CVD-Prozeß erfolgen. Vorzugsweise wird der Prozeß bei einem Druck von zwischen 200 und 700 Torr und einer Ozonkonzentration zwischen 10 und 15 Gew.-% durchgeführt.

Vorzugsweise ist die zweite isolierende Schicht abgesehen von den Einbuchtungen bei einer Technologiegeneration, bei der Metallstrukturen eine Breite von  $x \cdot 350$  nm aufweisen, wobei  $x$  eine positive Zahl ist, zwischen  $x \cdot 50$  nm und  $x \cdot 100$  nm dick. Beim Ätzen bis zur ersten Tiefe wird also zwischen  $x \cdot 100$  nm und  $x \cdot 150$  nm tief geätzt.

Die Spacer und die dadurch definierte horizontale Dicke der Teile der ersten isolierenden Schicht betragen vorzugsweise zwischen  $x \cdot 30$  nm und  $x \cdot 80$  nm.

Ist die erste isolierende Schicht auf einem Material eingebracht, auf dem beim selektiven Abscheiden des Materials ebenfalls Material abgeschieden werden würde, so ist es vorteilhaft, wenn die ersten Vertiefungen die erste isolierende Schicht nicht durchtrennen. Vorzugsweise werden die ersten Vertiefungen so erzeugt, daß die zweite Tiefe zwischen  $x \cdot 30$  nm und  $x \cdot 80$  nm oberhalb der unteren horizontalen Oberfläche der ersten isolierenden Schicht liegt.

Das Material zur Erzeugung der Füllstrukturen wird vorzugsweise in einer Dicke von ca.  $x \cdot 100$  nm und  $x \cdot 200$  nm abgeschieden.

Zur Verhinderung von Diffusion von Metallionen, z. B. Cu, in die erste isolierende Schicht und/oder in die zweite isolierende Schicht ist es vorteilhaft, wenn vor Erzeugung der Metallstrukturen und nach Erzeugung der zweiten Vertiefungen eine dünne als Diffusionsbarriere wirkende Schicht abgeschieden wird. Diese Schicht besteht beispiels-

weise aus  $\text{TaN}/\text{Ia}$  oder einer Doppelschicht aus  $\text{TaN}$  und  $\text{Ia}$ . Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Substrat, nachdem Halbleiterbauelemente, eine  $\text{SiO}_2$ -Schicht, Kontakte, eine erste isolierende Schicht und eine Maske erzeugt wurden.

Fig. 2 zeigt den Querschnitt aus Fig. 1, nachdem Spacer und Füllstrukturen erzeugt wurden.

Fig. 3 zeigt den Querschnitt aus Fig. 2, nachdem Füllschichten erzeugt wurden, die Füllstrukturen entfernt wurden und erste Vertiefungen erzeugt wurden.

Fig. 4 zeigt den Querschnitt aus Fig. 3, nachdem Deckelstrukturen erzeugt wurden und die Maske entfernt wurde.

Fig. 5 zeigt den Querschnitt aus Fig. 4, nachdem zweite Vertiefungen und Metallstrukturen erzeugt wurden.

Fig. 6 zeigt ein Ersatzschaltbild für die Kapazitäten zwischen zwei der Metallstrukturen.

Die Figuren sind nicht maßstabsgetreu.

Im Ausführungsbeispiel ist ein Substrat 1 aus Silizium vorgesehen, in dessen Oberfläche Halbleiterbauelemente 11a einer integrierten Schaltungsanordnung angeordnet sind, die schematisch in Fig. 1 dargestellt sind.

Auf dem Substrat 1 wird eine ca. 400 nm dicke  $\text{SiO}_2$ -Schicht S abgeschieden. In der  $\text{SiO}_2$ -Schicht S werden Kontaktlöcher zu den Halbleiterbauelementen 11a geöffnet und Kontakte K erzeugt, indem Wolfram in einer Dicke von ca. 200 nm abgeschieden wird und durch chemisch mechanisches Polieren abgetragen wird bis die  $\text{SiO}_2$ -Schicht S freigelegt wird (siehe Fig. 1).

Auf der  $\text{SiO}_2$ -Schicht S wird zur Erzeugung einer ersten isolierenden Schicht I1 Siliziumnitrid in einer Dicke von ca. 600 nm durch einen Plasma-CVD-Prozeß abgeschieden.

Auf der ersten isolierenden Schicht I1 wird zur Erzeugung einer Maske M  $\text{SiO}_2$  in einer Dicke von ca. 150 nm abgeschieden und durch ein photolithographisches Verfahren strukturiert. Fig. 1 zeigt drei streifenförmige Gebiete der ersten isolierenden Schicht I1, die von der Maske M bedeckt werden. Die streifenförmigen Gebiete sind ca. 350 nm breit. Ein erstes der Gebiete und ein zweites der Gebiete weisen einen Abstand von ca. 600 nm voneinander auf. Das zweite Gebiet und ein drittes der Gebiete weisen einen Abstand von ca. 350 nm voneinander auf. Bei der Strukturierung des  $\text{SiO}_2$  zur Erzeugung der Maske M wird auch die erste isolierende Schicht I1 bis zu einer ersten Tiefe T1 geätzt, die ca. 150 nm beträgt.

Anschließend wird  $\text{SiO}_2$  in einer Dicke von ca. 50 nm abgeschieden und selektiv zu Siliziumnitrid anisotrop rückgeätzt bis Teile der ersten isolierenden Schicht I1 und die Maske M freigelegt werden. Dadurch entstehen Spacer SP, die an seitliche Flächen der Maske M angrenzen. Zwischen jeweils zwei der streifenförmigen Gebiete sind zwei der Spacer SP angeordnet (siehe Fig. 2).

Zur Erzeugung von Füllstrukturen F wird Siliziumnitrid in einer Dicke von ca. 150 nm abgeschieden und selektiv zu  $\text{SiO}_2$  anisotrop rückgeätzt bis die Maske M freigelegt wird. Zwischen dem ersten streifenförmigen Gebiet und dem zweiten streifenförmigen Gebiet werden dadurch zwei spacerförmige der Füllstrukturen F gebildet, die an die Spacer SP angrenzen. Zwischen dem zweiten streifenförmigen Gebiet und dem dritten streifenförmigen Gebiet wird eine der Füllstrukturen F gebildet, die an zwei der Spacer SP angrenzt (siehe Fig. 2).

Zur Erzeugung von Füllschichten FS wird  $\text{SiO}_2$  in einer Dicke von ca. 500 nm abgeschieden und durch chemisch-mechanisches Polieren abgetragen bis die Füllstrukturen F freigelegt werden (siehe Fig. 3). Dadurch wird eine ebene Oberfläche gebildet. Die Füllschichten FS sind zwischen

den Füllstrukturen F angeordnet.

Durch anisotropes Ätzen von Siliziumnitrid selektiv zu  $\text{SiO}_2$  mit zum Beispiel  $\text{SF}_6/\text{He}$  oder  $\text{CF}_4/\text{O}_2/\text{Ar}$  werden die Füllstrukturen F entfernt und darunterliegende Teile der ersten isolierenden Schicht I1 bis zu einer zweiten Tiefe T2, die ca. 50 nm oberhalb der  $\text{SiO}_2$ -Schicht S liegt, geätzt. Dadurch werden in der ersten isolierenden Schicht I1 erste Vertiefungen V1 erzeugt (siehe Fig. 3).

Durch einen  $\text{O}_3/\text{TEOS}$ -CVD-Prozeß wird bei einem Druck von ca. 200 bis 700 Torr und einer Ozonkonzentration von ca. 10 bis 15 Gew.-%  $\text{SiO}_2$  selektiv auf  $\text{SiO}_2$  abgeschieden. Dabei wird das  $\text{SiO}_2$  auf den Spacern SP der Maske M und den Füllschichten FS aber nicht auf der ersten isolierenden Schicht I1 abgeschieden. Das selektive Abscheiden des  $\text{SiO}_2$  wird beendet, wenn in den ersten Vertiefungen V1 Hohlräume H gebildet werden, die vom selektiv abgeschiedenen  $\text{SiO}_2$  vollständig bedeckt werden. Anschließend wird chemisch mechanisch poliert bis die erste isolierende Schicht I1 freigelegt wird. Dabei wird die Maske M entfernt. Aus dem selektiv abgeschiedenen  $\text{SiO}_2$  werden durch das chemisch-mechanische Polieren Deckelstrukturen D gebildet, die die Hohlräume H bedecken (siehe Fig. 4). Die Deckelstrukturen D, die nach dem chemisch-mechanischen Polieren übriggelassenen Teile der Spacer SP und die nach dem chemisch-mechanischen Polieren übriggelassenen Teile der Füllschichten FS bilden eine zweite isolierende Schicht I2.

Durch anisotropes Ätzen mit zum Beispiel  $\text{SF}_6/\text{He}$  oder  $\text{CF}_4/\text{O}_2/\text{Ar}$  wird Siliziumnitrid selektiv zu  $\text{SiO}_2$  geätzt, so daß in den streifenförmigen Gebieten zweite Vertiefungen V2 erzeugt werden, die die erste isolierende Schicht I1 durchtrennen (siehe Fig. 5). Dabei werden die Kontakte K freigelegt.

Zur Erzeugung von Metallstrukturen MS wird Kupfer in einer Dicke von ca. 400 nm durch Sputtern abgeschieden und durch chemisch mechanisches Polieren planarisiert, bis die zweite isolierende Schicht I2 freigelegt wird. Die Metallstrukturen MS wirken als Leiterbahnen und sind über die Kontakte K mit den Halbleiterbauelementen 11a der integrierten Schaltungsanordnung verbunden.

Im folgenden wird die spezifische Kapazität des Hohlraums H, der zwischen der Metallstruktur MS, die im zweiten streifenförmigen Gebiet erzeugt wurde, und der Metallstruktur MS, die im dritten streifenförmigen Gebiet erzeugt wurde, angeordnet ist, berechnet. Die spezifische Kapazität ist die auf eine Längeneinheit der Metallstrukturen MS bezogene Kapazität.

Fig. 6 zeigt das Ersatzschaltbild für die spezifische Kapazität zwischen den beiden Metallstrukturen.

Eine obere Kapazität  $C_0$  wird gebildet durch Teile der Metallstrukturen MS, die von einer oberen Oberfläche der Metallstrukturen MS bis zur ersten Tiefe T1 reichen. Zwischen diesen Teilen der Metallstrukturen MS ist im wesentlichen  $\text{SiO}_2$  vorhanden, so daß  $C_0/L = (\epsilon_r \epsilon_0) T_1/B$  ist, wobei B der Abstand zwischen den beiden Metallstrukturen MS ist,  $\epsilon_r$  die relative Dielektrizitätskonstante von  $\text{SiO}_2$  ist und 3,9 beträgt und L eine Längeneinheit ist.

Die mittlere Kapazität  $C_H$ , die durch mittlere Teile der Metallstrukturen MS gebildet werden, die von der ersten Tiefe T1 bis zur zweiten Tiefe T2 reichen, ist eine Reihenschaltung von drei Kapazitäten. Bei der ersten Kapazität  $C_1$  ist die zugehörige Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$ , die von Siliziumnitrid also gleich 7,8.  $C_1/L = \epsilon_r \times \epsilon_0 \times (T_2 - T_1)/B_1$ , wobei  $B_1$  gleich der horizontalen Dicke der Spacer SP ist. Die dritte Kapazität  $C_3$  hat denselben Wert wie die erste Kapazität. Die zweite Kapazität  $C_2$  wird durch den Hohlraum H gebildet.  $C_2/L = \epsilon_0 \times (T_2 - T_1)/(B - 2 \times B_1)$ . Die Kapazität  $C_H$  der Reihenschaltung beträgt folglich  $C_H/L = \epsilon_0 \times (T_2 -$

$T1)/(B \times (1 + (\epsilon_r - 1) \times (B - 2 \times B_1)/B))$ .

Die untere Kapazität  $C_U$ , die durch Teile der Metallstrukturen MS, die sich von der  $\text{SiO}_2$ -Schicht S bis zur zweiten Tiefe T2 erstrecken, gebildet wird, wird durch Siliziumnitrid bestimmt.  $C_U/L = \epsilon_r \times \epsilon_0 \times (DI - T2)/B$ , wobei DI die vertikale Dicke der Metallstrukturen MS ist. 5

Die gesamte Kapazität ist die Summe aus  $C_U$ ,  $C_O$  und  $C_{II}$ .

Es sind viele Variationen des Ausführungsbeispiels denkbar, die ebenfalls im Rahmen der Erfindung liegen. So können Abmessungen der beschriebenen Schichten, Spacer, Kontakte, Vertiefungen und Metallstrukturen an die jeweiligen Erfordernisse angepaßt werden. Dasselbe gilt für die Wahl der Materialien. 10

Zur Erzeugung von Vias oder Kontaktpads statt Leiterbahnen können die Gebiete der ersten isolierenden Schicht I1, die von der Maske M bedeckt werden, auch quadratische oder runde Form haben. 15

Kupfer kann auch durch Sputtern und elektrochemische Abscheidung aufgebracht werden. 20

#### Patentansprüche

##### 1. Substrat mit mindestens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen,

- bei dem auf dem Substrat (1) eine erste isolierende Schicht (I1) angeordnet ist, 25

bei dem auf der ersten isolierenden Schicht (I1) eine zweite isolierende Schicht (I2) angeordnet ist, die aus einem anderen Material als die erste isolierende Schicht (I1) besteht, 30

- bei dem in der ersten isolierenden Schicht (I1) Hohlräume (H) angeordnet sind, die durch die zweite isolierende Schicht (I2) bedeckt werden,

bei dem die Metallstrukturen (MS) voneinander beabstandet sind und jeweils eine obere horizontale Oberfläche aufweisen, die in der Höhe einer oberen horizontalen Oberfläche der zweiten isolierenden Schicht (I2) liegt, 35

- bei dem die Hohlräume (H) so angeordnet sind, daß sie nicht an die Metallstrukturen (MS) angrenzen und daß mindestens ein Hohlraum (H) zwischen den beiden Metallstrukturen (MS) angeordnet ist, 40

- bei dem sämtliche horizontale Querschnitte des Hohlraums (H) im Bereich der ersten isolierenden Schicht (I1) im wesentlichen gleich sind. 45

##### 2. Substrat nach Anspruch 1,

bei dem die erste isolierende Schicht (I1) aus Siliziumnitrid besteht,

- bei dem die zweite isolierende Schicht (I2) aus  $\text{SiO}_2$  besteht. 50

##### 3. Substrat nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem die zweite isolierende Schicht (I2) Einbuchtungen aufweist, die über mittleren Bereichen der Hohlräume (H) angeordnet sind. 55

##### 4. Substrat nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

- bei dem die Hohlräume (H) so angeordnet sind, daß die Metallstrukturen (MS) seitlich an Teile der ersten isolierenden Schicht (I1) angrenzen, die eine definierte horizontale Dicke aufweisen. 60

##### 5. Substrat nach Anspruch 4,

- bei dem die zweite isolierende Schicht (I2) abgesehen von den Einbuchtungen zwischen 50 nm und 100 nm dick ist,

- bei dem die definierte horizontale Dicke der Teile der ersten isolierenden Schicht (I1) zwischen 30 nm und 80 nm beträgt. 65

##### 6. Verfahren zur Erzeugung eines Substrat mit mind-

stens zwei darauf angeordneten Metallstrukturen,

- bei dem auf dem Substrat (1) eine erste isolierende Schicht (I1) erzeugt wird,

- bei dem auf der ersten isolierenden Schicht (I1) eine zweite isolierende Schicht (I2) erzeugt wird, die aus einem anderen Material als die erste isolierende Schicht (I1) besteht,

- bei dem in der ersten isolierenden Schicht (I1) Hohlräume (H) erzeugt werden, die durch die zweite isolierende Schicht (I2) bedeckt werden,

bei dem die Metallstrukturen (MS) so erzeugt werden daß sie voneinander beabstandet sind und jeweils eine obere horizontale Oberfläche aufweisen, die in der Höhe einer oberen horizontalen Oberfläche der zweiten isolierenden Schicht (I2) liegt,

- bei dem die Hohlräume (H) so erzeugt werden, daß sie nicht an die Metallstrukturen (MS) angrenzen und daß mindestens ein Hohlraum (H) zwischen den beiden Metallstrukturen (MS) angeordnet ist,

- bei dem der Hohlraum (H) so erzeugt wird, daß sämtliche horizontalen Querschnitte des Hohlraums (H) im Bereich der ersten isolierenden Schicht (I1) im wesentlichen gleich sind.

##### 7. Verfahren nach Anspruch 6,

bei dem auf der ersten isolierenden Schicht (I1) eine Maske (M) erzeugt wird, die ein erstes Gebiet und ein davon beabstandetes zweites Gebiet der ersten isolierenden Schicht (I1) bedeckt,

- bei dem mit Hilfe der Maske (M) die erste isolierende Schicht (I1) bis zu einer ersten Tiefe (T1) geätzt wird,

bei dem nach dem Ätzen bis zur ersten Tiefe (T1) als Teil der zweiten isolierenden Schicht (I2) Spacer (SP) mit einer solchen Dicke erzeugt werden, daß mindestens zwei der Spacer (SP) zwischen dem ersten Gebiet und dem zweiten Gebiet angeordnet sind und voneinander beabstandet sind,

bei dem nach Erzeugung der Spacer (SP) Material abgeschieden und rückgeätzt wird bis die Maske (M) freigelegt wird, so daß Füllstrukturen (F) erzeugt werden,

- bei dem nach Erzeugung der Füllstrukturen (F) als Teil der zweiten isolierenden Schicht (I2) Füllschichten (FS) erzeugt werden, indem Material abgeschieden und chemischmechanisch poliert wird, bis die Maske (M) freigelegt wird,

- bei dem die Füllstrukturen (F) nach Erzeugung der Füllschichten (FS) entfernt werden,

- bei dem die durch die Entfernung der Füllstrukturen (F) freigelegten Teile der ersten isolierenden Schicht (I1) bis zu einer zweiten Tiefe (T2), die tiefer als die erste Tiefe (T1) liegt, geätzt werden, so daß erste Vertiefungen (V1) erzeugt werden,

- bei dem Material selektiv auf die Spacer (SP) und nicht auf der ersten isolierenden Schicht (I1) abgeschieden wird, bis in den ersten Vertiefungen (V1) vom Material bedeckte Hohlräume (H) entstehen,

- bei dem nach Bildung der Hohlräume (H) chemisch mechanisch poliert wird, bis die Maske (M) abgetragen wird, so daß aus dem selektiv abgeschiedenen Material als Teil der zweiten isolierenden Schicht (I2) Deckelstrukturen (D) erzeugt werden, die die Hohlräume (H) bedecken,

- bei dem das erste Gebiet und das zweite Gebiet,

die aufgrund der Entfernung der Maske (M) freiliegen, selektiv zu den Deckelstrukturen (D), den Füllschichten (FS) und den Spacern (SP) anisotrop geätzt werden, so daß zweite Vertiefungen (V2), die mindestens bis zur zweiten Tiefe (T2) 5 reichen, erzeugt werden,

– bei dem Metall abgeschieden und durch chemisch mechanisches polieren abgetragen wird bis die Deckelstrukturen (D) freigelegt werden, so daß in den zweiten Vertiefungen (V2) die Metallstrukturen (MS) erzeugt werden. 10

8. Verfahren nach Anspruch 7,

– bei dem die erste isolierende Schicht (I1) und die Füllstrukturen (F) aus Siliziumnitrid erzeugt werden, 15

– bei dem die Deckelstrukturen (D), die Spacer (SP) und die Füllschichten (FS) aus  $\text{SiO}_2$  erzeugt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,

– bei dem die Spacer (SP) aus  $\text{SiO}_2$  erzeugt werden, 20

– bei dem das selektive Abscheiden des Materials auf den Spacern (SP) durch einen  $\text{O}_3/\text{TEOS}$ -CVD-Prozeß bei einem Druck von zwischen 200 Torr und 700 Torr und einer Ozonkonzentration zwischen 10 und 15 Gew.-% erfolgt. 25

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9,

– bei dem die Metallstrukturen (MS) eine Breite von  $x \cdot 350$  nm aufweisen, wobei x eine positive Zahl ist, 30

– bei dem beim Ätzen bis zur ersten Tiefe (T1) zwischen  $x \cdot 100$  nm und  $x \cdot 150$  nm tief geätzt wird,

– bei dem die ersten Vertiefungen (V1) so erzeugt werden, daß die zweite Tiefe (T2) zwischen  $x \cdot 30$  nm und  $x \cdot 80$  nm oberhalb einer unteren horizontalen Oberfläche der ersten isolierenden Schicht (I1) liegt, 35

– bei dem die Spacer (SP) mit einer Dicke von zwischen  $x \cdot 30$  nm und  $x \cdot 80$  nm erzeugt werden, 40

bei dem das Material zur Erzeugung der Füllstrukturen (F) in einer Dicke von zwischen  $x \cdot 100$  nm und  $x \cdot 200$  nm abgeschieden wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

FIG 1

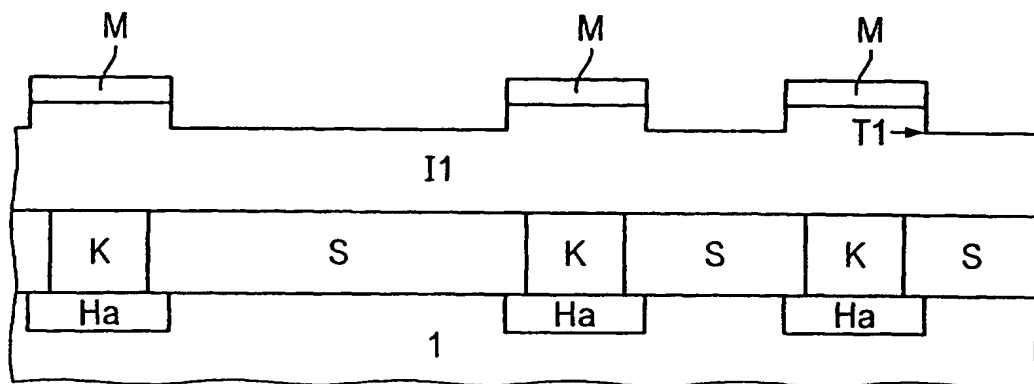


FIG 2

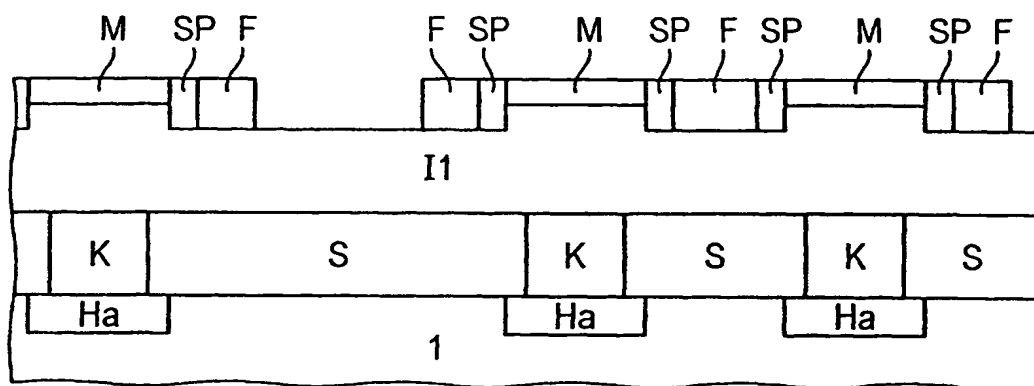


FIG 3

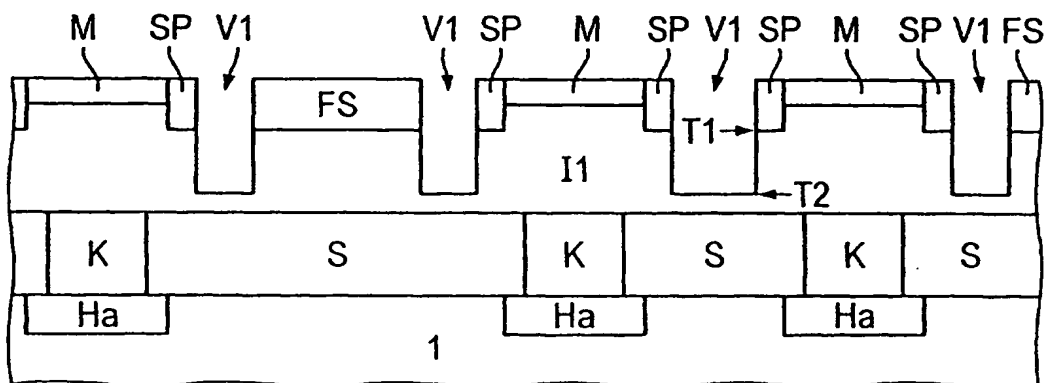


FIG 4

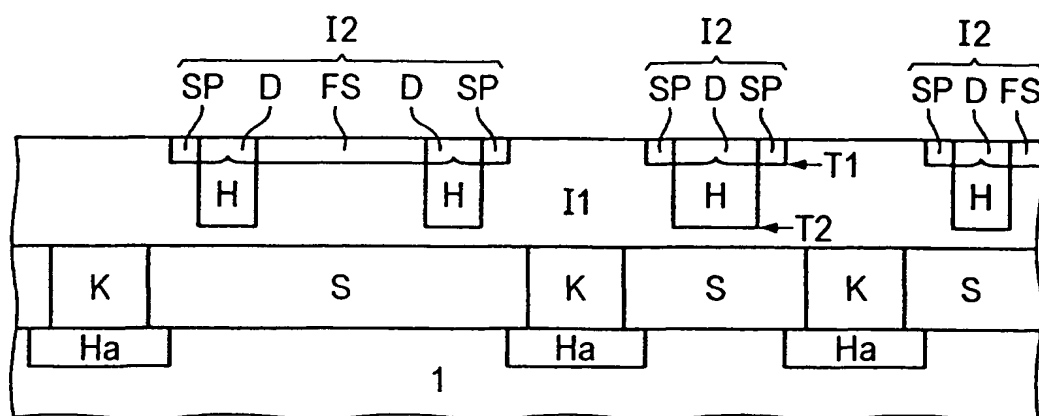


FIG 5

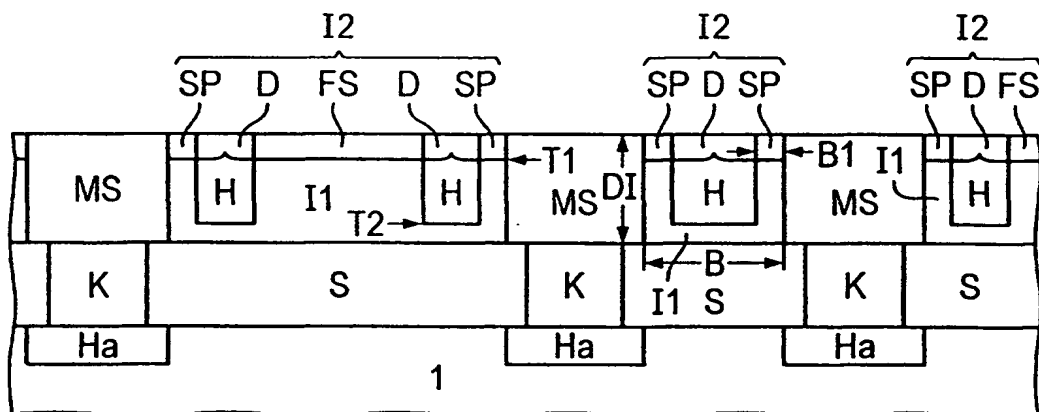


FIG 6

